

DISPOSITIF A SEMICONDUCTEUR UTILISANT LE CARBURE DE SILICIUM

Patent number: FR2740907
Publication date: 1997-05-09
Inventor: AJIT JANARDHANAN S
Applicant: INT RECTIFIER CORP (US)
Classification:
- international: H01L29/165; H01L29/78; H01L29/872
- european: H01L29/24D, H01L29/267, H01L29/78B2, H01L29/78B2B2, H01L29/861
Application number: FR19960012392 19961010
Priority number(s): US19950004983P 19951010

Also published as:



GB2306250 (A)
DE19641839 (A1)

Abstract not available for FR2740907
Abstract of correspondent: DE19641839

A semiconductor device structure having an epitaxial layer 12, formed of silicon for example, is disposed on a high band-gap material 11, such as silicon carbide, which is in turn disposed on a semiconductor substrate 10, such as silicon. The high band gap material achieves a charge concentration much higher than that of a conventional semiconductor material for the same breakdown voltage. This structure may be used in a MOSFET or a diode. The region 11 is a drift region of lower resistance than silicon and provides a higher critical avalanche field. The MOSFET may be of the trench type with a polysilicon gate.

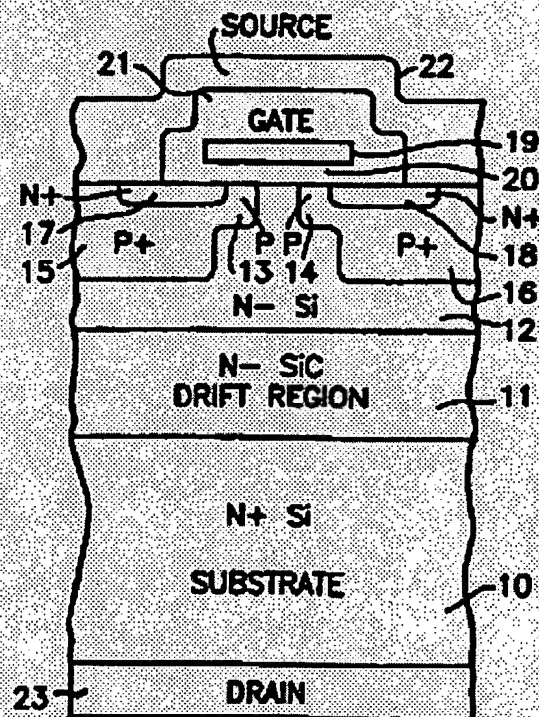


FIG. 1

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 740 907

②1 N° d'enregistrement national : 96 12392

⑤1 Int Cl⁸ : H 01 L 29/165, 29/78, 29/872

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 10.10.96.

③0 Priorité : 10.10.96 US 4983.

⑦1 Demandeur(s) : INTERNATIONAL RECTIFIER
CORPORATION — US.

⑦2 Inventeur(s) : AJIT JANARDHANAN S.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : 09.05.97 Bulletin 97/19.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.*

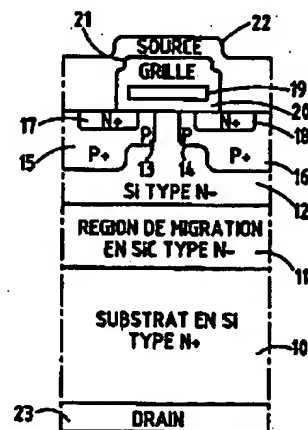
⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire : CABINET BEAU DE LOMENIE.

⑤4 DISPOSITIF A SEMICONDUCTEUR UTILISANT LE CARBURE DE SILICIUM.

⑤7 L'invention concerne une structure de dispositif à se-
miconducteur qui possède une couche épitaxiale (12),
formé de silicium par exemple, qui est disposé sur une ma-
tière à bande interdite élevée (11), par exemple du carbure
de silicium, qui est elle-même disposée sur un substrat se-
miconducteur (10), par exemple du silicium. La matière à
bande interdite élevée acquiert une concentration de
charge beaucoup plus élevée qu'une matière semiconduc-
trice classique, pour une même tension de claquage.



FR 2 740 907 - A1



La présente invention concerne les dispositifs à semiconducteur. Plus spécialement, elle concerne les dispositifs à semiconducteur pour haute tension. Plus spécialement encore, l'invention concerne les dispositifs à semiconducteur nécessitant une conductivité élevée et des tensions de claquage élevées.

5 Le carbure de silicium (SiC) possède une bande interdite plus élevée que le silicium (Si) et, par conséquent, SiC présente un champ électrique critique d'avalanche plus élevé que Si, avec un potentiel de performances cent fois plus élevé par comparaison avec le silicium pour les dispositifs haute tension. Plus
10 spécialement, 3C-SiC présente un champ électrique critique d'avalanche environ 4 fois plus élevé que Si ; 6H-SiC possède un champ électrique critique d'avalanche environ 8 fois plus élevé que Si ; et 4H-SiC présente un champ électrique critique d'avalanche environ 10 fois plus élevé que Si. Le champ électrique critique élevé de SiC permet un dopage plus fort et des régions de migration plus minces, ce qui permet de réduire la résistance d'état conducteur de dispositifs de puissance en SiC,
15 par comparaison avec les dispositifs de puissance en Si classiques.

Toutefois, il existe actuellement un problème en ce qui concerne les dispositifs en SiC, à savoir qu'il est difficile de faire diffuser des agents dopants dans la matière SiC. Plus particulièrement, la diffusion d'agents dopants dans SiC demande des températures qui sont de l'ordre de 1800°C. Un autre problème causé
20 par l'utilisation de SiC est que cette matière présente une faible mobilité de porteurs pour un canal MOS et, par conséquent, lorsqu'on utilise SiC comme matériau pour un canal dans un dispositif à semiconducteur, la conductivité du canal peut se dégrader.

L'invention surmonte les inconvénients de la technique antérieure
25 présentés ci-dessus en proposant une structure semiconductrice qui comporte une couche épitaxiale mince de Si sur un corps en matière SiC. On préfère que la couche épitaxiale mince ait une épaisseur d'environ 3 μ m. Il est possible d'utiliser la structure selon l'invention dans un MOSFET de puissance, un MOSFET de puissance du type à tranchée, une diode, et d'autres dispositifs à semiconducteur.

30 Pour réduire le coût, on peut former la couche de SiC sur un substrat de Si fortement dopé (il est indiqué dans la littérature qu'on peut facilement faire croître 3C-SiC sur Si). Ces structures, par exemple un MOSFET de puissance qui comporte une couche de silicium formée par croissance épitaxiale, peuvent être produites dans les installations actuellement existantes de fabrication de MOSFET
35 de puissance en silicium, à l'aide des processus existants.

Les régions de migration de dispositifs employant la structure selon l'invention (comme des MOSFET de puissance) sont principalement constituées en SiC et, puisque le dopage de SiC peut être beaucoup plus intense que celui de Si (tout en supportant la même tension qu'un dispositif en Si classique), les nouvelles structures des dispositifs selon l'invention offrent des résistances d'état conducteur inférieures par comparaison avec les dispositifs de puissance en Si classiques. Il faut toutefois noter que les tensions de claquage de structures de dispositifs selon l'invention sont toujours déterminées par le champ critique au niveau de la jonction corps de type P/région de migration de type N⁻, qui est formée au moins partiellement en Si. Pour des dispositifs haute tension (par exemple au-dessus de 70 V), on s'attend à ce que les structures de dispositifs selon l'invention offrent des résistances d'état conducteur de 20 % à 90 % inférieures à celles de dispositifs en Si classiques.

Dans les nouvelles structures selon l'invention, la jonction corps de type P/région de migration de type N⁻ peut être formée ou bien entièrement dans Si ou bien au niveau de l'hétérojonction Si/SiC. Pour obtenir l'amélioration la plus grande, il est préférable que la couche de Si soit plus mince et que des diffusions dans le corps de type P soient faites de manière que les jonctions corps P/région de migration N⁻ soient formées en SiC. Toutefois, ces structures imposent la diffusion d'agents dopants dans SiC à des températures élevées et pendant des durées longues par comparaison avec la diffusion d'agents dopants dans Si.

On note qu'il est possible d'employer des structures utilisant d'autres matériaux semiconducteurs à bande interdite élevée à la place de la matière SiC spécifiée tout en restant dans le domaine de l'invention.

La description suivante, conçue à titre d'illustration de l'invention, vise à donner une meilleure compréhension de ses caractéristiques et avantages ; elle s'appuie sur les dessins annexés, parmi lesquels :

la figure 1 est une vue en section droite montrant un dispositif transistor à effet de champ MOS à double diffusion (DMOSFET) qui emploie une structure selon l'invention ;

la figure 2 est une vue en section droite montrant un dispositif formant une diode à barrière de Schottky, qui emploie une structure selon l'invention ;

la figure 3 est une vue en section droite montrant un dispositif formant un MOSFET de puissance du type à tranchée, qui emploie une structure selon l'invention ;

la figure 4 est une vue en section droite montrant un autre mode de réalisation d'un dispositif DMOSFET de puissance, qui emploie une structure selon l'invention ;

la figure 5 est une vue en section droite montrant un autre mode de réalisation d'un dispositif MOSFET de puissance du type à tranchée, qui emploie une structure selon l'invention ;

la figure 6 est une vue en section droite montrant une jonction de silicium de type P et de carbure de silicium de type N ainsi que la distribution du champ E correspondante sur la jonction, en relation avec le dispositif de l'invention présenté sur la figure 4 ;

la figure 7 est une vue en section droite montrant une jonction, pouvant supporter une tension plus élevée, de la structure de dispositif de la figure 1, ainsi que la distribution de champ E correspondante.

On se reporte aux dessins annexés. La figure 1 montre une nouvelle structure DMOSFET de puissance en SiC selon l'invention, dans laquelle une région 11 de migration en SiC de type N est disposée sur un substrat 10 en Si de type N^+ de la forme classique. La région en SiC 11 est plus fortement dopée que Si et, par conséquent, la région en SiC 11 est moins résistante que les régions de migration en Si de la technique antérieure, tout en maintenant encore une tension de claquage élevée. Une couche épitaxiale 12 de type N^- d'une épaisseur de $3\text{ }\mu\text{m}$ est réalisée par croissance sur le dessus de la région 11 de migration en SiC. Des jonctions de MOSFET de puissance classiques (comme des régions de canal de type P^- 13, 14 ; des régions de corps de type P^+ 15, 16 ; des sources N^+ 17, 18 ; une grille en silicium polycristallin 19 ; une partie d'oxyde de grille 20 ; une partie d'oxyde inter-couches 21 ; et un contact de source 22 en position supérieure) sont disposés sur la couche épitaxiale N^- 12. Un contact de drain 23 est disposé à la position inférieure du substrat 10.

On se reporte maintenant à la figure 6, qui montre que la quantité de charge dans la région 11 en SiC est plus de 3 fois supérieure à celle de Si pour la même tension de claquage. La figure 6 représente une jonction 50 entre du silicium (Si) 51 de type P et du carbure de silicium (SiC) 52 de type N, où le champ E correspondant est également indiqué. Pour avoir une résistance d'état conducteur plus basse dans la région de migration, par comparaison avec un MOSFET en Si, il faut que le dopage (N_D) de la région de migration permettant de supporter la haute tension soit élevé et que son épaisseur (W) permettant de supporter la haute tension soit petite. En d'autres termes, la région de migration doit pouvoir supporter la

haute tension avec un dopage fort (N_D) et une épaisseur minimale (W). Au niveau de la jonction 50, la loi de Gauss fournit les équations suivantes :

$$\epsilon_{Si} \cdot E_{Si} = \epsilon_{SiC} \cdot E_{SiC}$$

5

$$E_{Si} = (\epsilon_{SiC} / \epsilon_{Si}) \cdot E_{SiC}$$

$$E_{Si} \approx 0,82 \cdot E_{SiC} \text{ pour } 3C\text{-SiC}$$

10

$$E_{SiC} = 1,21 \cdot E_{Si} \text{ pour } 3C\text{-SiC}$$

De façon général, pour un dopage uniforme de la région de migration, on a les relations suivantes :

$$15 \quad E_c = qN_D W / \epsilon, \quad \text{où } E_c \text{ est le champ critique de claquage par avalanche se rapportant à cette structure pour le claquage}$$

$$E_{SiC} = 1,21 \cdot E_{c, Si}$$

$$20 \quad \text{pente du champ } E = \frac{dE}{dY} = \frac{qN_D}{\epsilon}$$

le dopage N_D de la région de migration est proportionnel à $E_{migr.max}$

l'épaisseur W de la région de migration est proportionnelle à ϵ .

25

L'équation ci-dessus indique que, pour que le champ E descende jusqu'à zéro sur la distance la plus courte (pour une épaisseur W minimale de la région de migration), il faut que la constante diélectrique de la matière formant la région de migration, à savoir ϵ , soit la plus faible possible.

30

Ainsi, pour permettre un dopage plus fort de la région de migration, il faut que la région de migration soit faite d'un matériau ayant, par rapport au silicium, un champ critique d'avalanche plus élevé.

Pour obtenir une plus petite épaisseur de la région de migration, il faut que la région de migration soit faite d'un matériau ayant, par rapport au silicium, une constante diélectrique plus basse.

35

Par rapport au silicium Si, le carbure de silicium SiC possède un champ critique d'avalanche plus élevé et une constante diélectrique plus basse. Ainsi, SiC est bien adapté comme matière pour région de migration et, pour abaisser la résistance de la région de migration, il faut que cette dernière soit faite sensiblement en une matière telle que SiC.

Comme représenté sur la figure 1, on peut employer toute topologie voulue pour réaliser des jonctions dans la couche épitaxiale de type N⁻ 12, de sorte qu'on obtiendra alors d'autres dispositifs commandés par grille MOS selon l'invention.

La figure 2 représente une diode à barrière de Schottky employant une structure selon l'invention. Les éléments analogues à ceux de la figure 1 sont désignés par les mêmes numéros de référence. Les différences principales entre les structures de la figure 1 et de la figure 2 sont que : (i) la région 12 n'a pas de jonction (à la place, on peut utiliser un anneau de garde classique) ; et (ii) la cathode 22a est de préférence une matière à fonction de travail élevée, par exemple du molybdène ou autre. Comme discuté ci-dessus, la quantité de charge présente dans la matière SiC est beaucoup plus élevée que dans Si pour une même tension de claquage et, par conséquent, la conductivité du dispositif est améliorée par rapport aux dispositifs classiques possédant la même tension de claquage.

La figure 3 montre un MOSFET de puissance du type à tranchée qui emploie une structure selon l'invention. Plus spécialement, une couche 30 de silicium de type P se prolongeant depuis un corps 31 de type P⁺ est disposée contre une partie 32 d'oxyde de grille qui garnit la tranchée gravée dans le silicium. La tranchée est remplie d'une grille en silicium polycristallin 33. Une région 34 de diffusion de source de type N⁺ a diffusé dans des régions 30 et 31 de type P et un contact de source 22 est disposé sur des régions 31 et 34 et sur la partie d'oxyde de grille 32. Comme discuté ci-dessus, la quantité de charge présente dans la matière SiC est beaucoup plus élevée que celle présente dans Si pour une même tension de claquage.

Le dispositif de la figure 4 est un autre mode de réalisation d'un MOSFET selon l'invention et est analogue à celui de la figure 1. Dans le dispositif de la figure 4, les bases de type P⁺ 15 et 16 sont en contact direct avec la région de migration 11 en SiC, ce qui laisse une couche épitaxiale 12 relativement moins profonde.

Le dispositif de la figure 5 est analogue à celui de la figure 3, sauf que la jonction formée entre la région de type P^+ 31, la région de type P 30 et la région de type N 11 est formée au niveau de l'hétérojonction Si/SiC.

5 Bien entendu, l'homme de l'art sera en mesure d'imaginer, à partir des dispositifs dont la description vient d'être donnée à titre simplement illustratif et nullement limitatif, diverses variantes et modifications ne sortant pas du cadre de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Dispositif à semiconducteur, caractérisé en ce qu'il comprend :
un substrat semiconducteur (10) ;
5 une matière à bande interdite élevée formant une région de migration
(11) disposée sur le substrat semiconducteur ; et
une couche épitaxiale (12) de matière semiconductrice disposée sur la
matière à bande interdite élevée.
2. Dispositif à semiconducteur selon la revendication 1, caractérisé en
10 ce que la matière à bande interdite élevée formant une région de migration est une
matière à constante diélectrique faible et à mobilité de porteurs élevée.
3. Dispositif à semiconducteur selon la revendication 1, caractérisé en
ce que la couche épitaxiale de matière semiconductrice a une épaisseur d'environ
3 μm .
- 15 4. Dispositif à semiconducteur selon la revendication 1, caractérisé en
ce que la matière du substrat semiconducteur est le silicium.
5. Dispositif à semiconducteur selon la revendication 1, caractérisé en
ce que la matière à bande interdite élevée formant une région de migration est le
carbure de silicium.
- 20 6. Dispositif à semiconducteur selon la revendication 1, caractérisé en
ce que la matière semiconductrice formant la couche épitaxiale est le silicium.
7. Dispositif à semiconducteur selon la revendication 1, caractérisé en
ce que la matière du substrat semiconducteur est le silicium, la matière à bande
interdite élevée formant une région de migration est le carbure de silicium, et la
25 matière semiconductrice formant la couche épitaxiale est le silicium.
8. Dispositif à semiconducteur du type MOSFET, caractérisé en ce
qu'il comprend :
un substrat semiconducteur dopé (10) ;
une matière à bande interdite élevée, dopée, formant une région de
30 migration (11) disposée sur le substrat semiconducteur dopé ; et
une couche épitaxiale dopée (12) de matière semiconductrice disposée
sur la matière à bande interdite élevée.
9. Dispositif à semiconducteur du type MOSFET selon la revendication 8, caractérisé en ce que la matière dopée à bande interdite élevée formant
35 une région de migration est une matière à constante diélectrique faible et à
mobilité de porteurs élevée.

10. Dispositif à semiconducteur du type MOSFET selon la revendication 8, caractérisé en ce que la couche épitaxiale de matière semiconductrice a une épaisseur d'environ 3 μm .

5 11. Dispositif à semiconducteur de type MOSFET selon la revendication 8, caractérisé en ce que la matière du substrat semiconducteur est le silicium.

12. Dispositif à semiconducteur de type MOSFET selon la revendication 8, caractérisé en ce que la matière à bande interdite élevée formant une région de migration est le carbure de silicium.

10 13. Dispositif à semiconducteur de type MOSFET selon la revendication 8, caractérisé en ce que la matière semiconductrice formant la couche épitaxiale est le silicium.

14. Dispositif à semiconducteur de type MOSFET selon la revendication 8, caractérisé en ce que la matière du substrat semiconducteur est le silicium, la matière à bande interdite élevée formant une région de migration est le carbure de silicium, et la matière semiconductrice formant la couche épitaxiale est le silicium.

15. Diode à semiconducteur, caractérisée en ce qu'elle comprend :
un substrat semiconducteur dopé (10) ;
20 une matière à bande interdite élevée dopée formant une région de migration (11) disposée sur le substrat semiconducteur dopé ; et
une couche épitaxiale dopée (12) de matière semiconductrice disposée sur la matière à bande interdite élevée.

16. Diode à semiconducteur selon la revendication 15, caractérisé en ce
25 que la matière dopée à bande interdite élevée formant une région de migration est une matière à constante diélectrique faible et à mobilité de porteurs élevée.

17. Diode à semiconducteur selon la revendication 15, caractérisé en ce que la couche épitaxiale de matière semiconductrice a une épaisseur d'environ 3 μm .

30 18. Diode à semiconducteur selon la revendication 15, caractérisé en ce que la matière du substrat semiconducteur est le silicium.

19. Diode à semiconducteur selon la revendication 15, caractérisé en ce que la matière à bande interdite élevée formant la région de migration est le carbure de silicium.

35 20. Diode à semiconducteur selon la revendication 15, caractérisé en ce que la matière semiconductrice formant la configuration épitaxiale est le silicium.

21. Diode à semiconducteur selon la revendication 15, caractérisé en ce que la matière du substrat semiconducteur est le silicium, la matière à bande interdite élevée formant une région de migration est le carbure de silicium, et la matière semiconductrice formant la couche épitaxiale est le silicium.

5 22. Dispositif à semiconducteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le dispositif à semiconducteur est un MOSFET de puissance du type à tranchée.

23. Dispositif à semiconducteur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des jonctions de MOSFET de puissance disposées
10 au-dessus de la couche épitaxiale et comportant des régions de corps de type P⁺ (15, 16), des sources de type N⁺ (17, 18) ; une grille en silicium polycristallin (19) ; une partie d'oxyde de grille (20) ; et un contact de source (22) placé en position supérieure, tous ces éléments étant disposés au-dessus de la couche épitaxiale.

15 24. Dispositif à semiconducteur selon la revendication 23, caractérisé en ce qu'il comporte en outre un contact de drain (23) disposé au-dessous du substrat semiconducteur.

25 25. Dispositif à semiconducteur selon la revendication 8, caractérisé en ce que la jonction corps de type P/région de migration de type N⁻ supportant la haute tension est formée au niveau de l'hétérojonction couche épitaxiale/matière à bande interdite élevée.

26 26. Dispositif à semiconducteur selon la revendication 8, caractérisé en ce que la jonction corps de type P/région de migration de type N⁻ supportant la haute tension est formée dans la couche épitaxiale, tandis que la matière à bande
25 interdite élevée est disposée plus profondément par rapport à la surface que la jonction.

30 27. Dispositif à semiconducteur selon la revendication 8, caractérisé en ce que la jonction corps de type P/région de migration de type N⁻ supportant la haute tension est formée dans la matière à bande interdite élevée, tandis que l'hétérojonction couche épitaxiale/matière à bande interdite élevée est disposée moins profondément par rapport à la surface que la jonction corps de type P/région de migration de type N⁻.

1/2

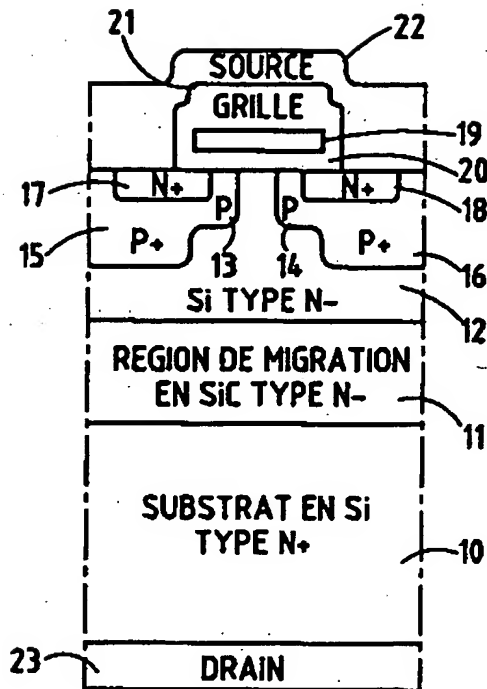


FIG. 1

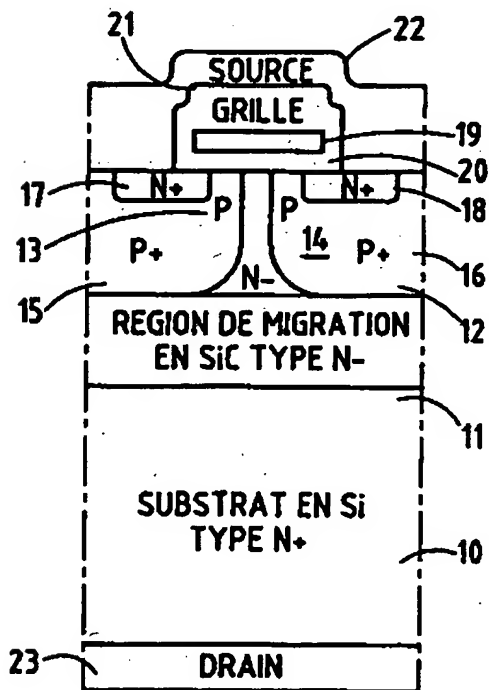


FIG. 4

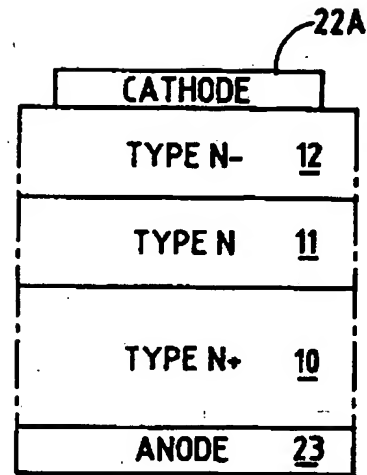


FIG. 2

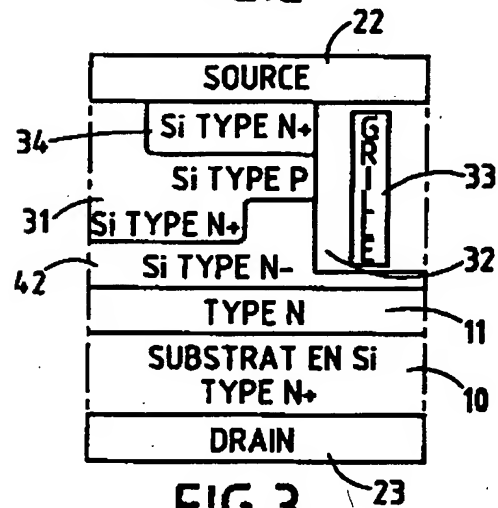


FIG. 3

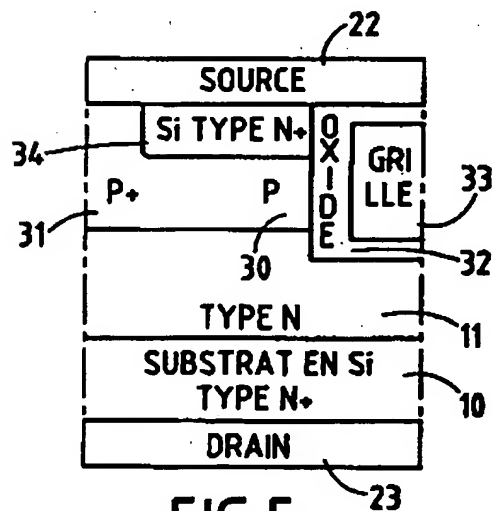


FIG. 5

2/2

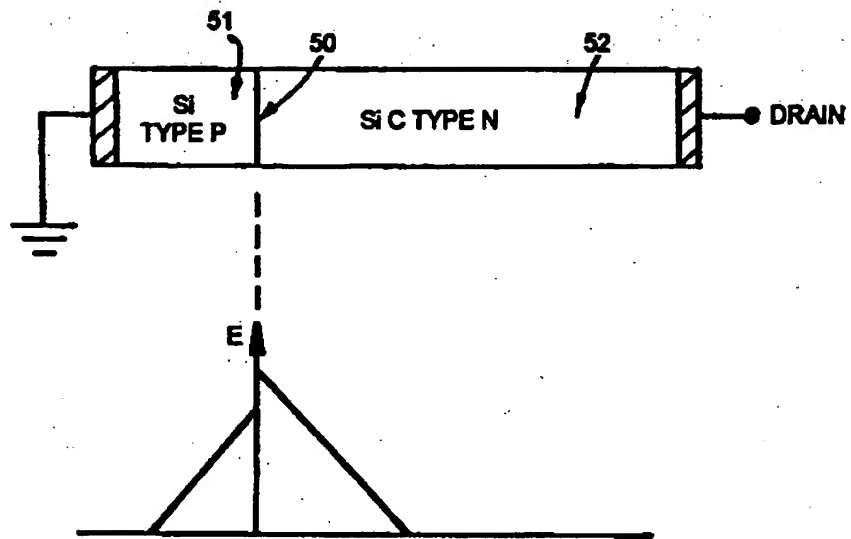


FIG. 6

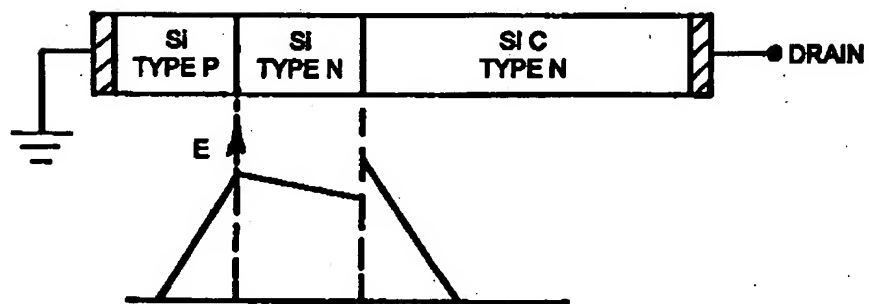


FIG. 7